

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-234501

(43)Date of publication of application : 10.09.1993

(51)Int.Cl.

H01J 1/34  
H01J 29/38

(21)Application number : 04-037823

(71)Applicant : HAMAMATSU PHOTONICS KK

(22)Date of filing : 25.02.1992

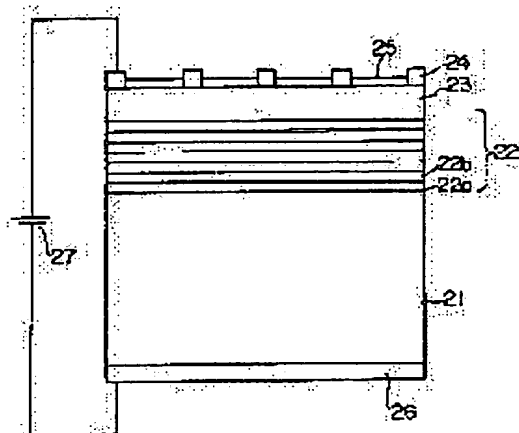
(72)Inventor : ARAGAKI MINORU

## (54) PHOTOELECTRON EMITTING SURFACE AND ELECTRON TUBE USING THE SAME

## (57)Abstract:

**PURPOSE:** To provide a photoelectron emitting surface having remarkably higher sensitivity in comparison with a conventional photoelectron emitting surface using a semiconductor and able to extend a critical wave length to a far longer wavelength, and an electron tube using this surface.

**CONSTITUTION:** Since a GaAs layer 22a of a heterojunction semiconductor multi-layer film to be a light absorbing layer 22 has a film thickness of 300 $\text{\AA}$  or less which is shorter than the de Broglie wave length of an electron, it forms a potential well being interposed by adjacent  $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{As}$  layers 22b each having a large energy gap, and a sub band in accordance with a quantum level is formed in the GaAs layer 22a. Since the  $\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35}\text{As}$  layer 22b has a film thickness equal to or thicker than 45 $\text{\AA}$  which an electron can not pass through due to a tunnel effect, this sub band is all the time filled with bound electrons.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.03.1996

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 23.03.1999

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-234501

(43)公開日 平成5年(1993)9月10日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	弁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 J 1/34	C	9172-5E		
29/38		8326-5E		

審査請求 未請求 請求項の数 8 (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平4-37823

(22)出願日 平成4年(1992)2月25日

(71)出願人 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町1126番地の1

(72)発明者 新垣 実

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ

トニクス株式会社内

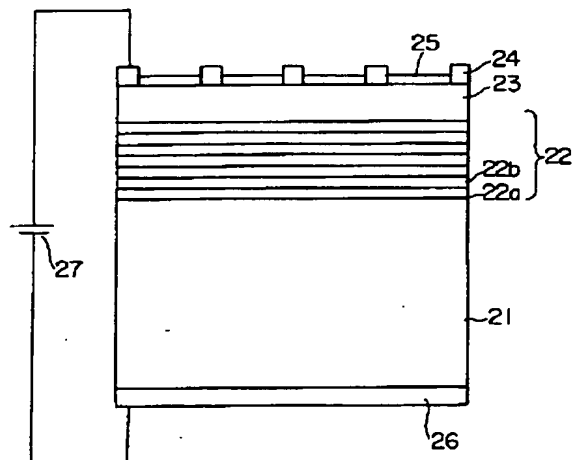
(74)代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54)【発明の名称】 光電子放出面及びそれを用いた電子管

(57)【要約】

【目的】 従来の半導体を用いた光電子放出面に比較して著しく高い感度を有し、また、その限界波長をはるかに長波長まですることが可能な光電子放出面及びそれを用いた電子管を提供することを目的とする。

【構成】 光吸収層22となる異種接合半導体多層膜のGaAs層22aは、電子のドブロイ波長よりも短い300オングストローム以下の膜厚であるため、隣接するエネルギーギャップの大きなAl<sub>0.65</sub>Ga<sub>0.35</sub>As層22bによって挟まれてポテンシャル井戸となり、GaAs層22a内にその量子準位に応じたサブバンドが形成される。この時に、Al<sub>0.65</sub>Ga<sub>0.35</sub>As層22bはトンネル効果によって電子が通り抜けられない45オングストローム以上の膜厚を有しているので、このサブバンドは束縛電子により常に満たされた状態にある。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光吸収層に光子が入射すると光電子を放出する光電子放出面において、

前記光吸収層はエネルギーギャップの異なる半導体の異種接合が多層になった異種接合半導体多層膜によって形成され、エネルギーギャップの小さな前記半導体の膜厚は 300 オングストローム以下であり、エネルギーギャップの大きな前記半導体の膜厚は 45 オングストローム以上であることを特徴とする光電子放出面。

【請求項 2】 光吸収層に光子が入射すると光電子を放出する光電子放出面において、

前記光吸収層は導電型の異なる半導体の同種接合が多層になった同種接合半導体多層膜によって形成され、一方の導電型の前記半導体の膜厚は 300 オングストローム以下であり、他方の半導体の膜厚は 45 オングストローム以上であることを特徴とする光電子放出面。

【請求項 3】 入射光子により励起された光電子は内部電界により加速され、より高いエネルギーバンドへ遷移することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の光電子放出面。

【請求項 4】 光吸収層を形成する半導体多層膜のそれぞれの伝導帯のエネルギー差は、半導体の最小のエネルギーギャップよりも小さいことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 または請求項 3 記載の光電子放出面。

【請求項 5】 半導体多層膜中に形成される伝導帯のサブバンド間あるいはサブバンドと伝導帯の底の間で入射光子を吸収して光電子を励起することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 または請求項 3 記載の光電子放出面。

【請求項 6】 半導体多層膜は III-V 族化合物半導体またはその混晶によって形成されていることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 または請求項 3 記載の光電子放出面。

【請求項 7】 半導体多層膜は Si または Ge またはその混晶から形成されていることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 または請求項 3 記載の光電子放出面。

【請求項 8】 請求項 1 または請求項 2 または請求項 3 記載の光電子放出面を備えて構成されていることを特徴とする電子管。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は光子の入射によって光電子を放出する光電子放出面およびこれを用いて構成された電子管に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、効率の高い光電子放出面を得ることを目的として、光吸収層に半導体多層膜を用いた技術が特開昭 62-133634 号公報および特開昭 62-133633 号公報に開示されている。この第 1 の従来の光電子放出面は図 4 に示されるエネルギーバンド構造を

有している。つまり、エネルギーギャップの小さな層 6 は、入射光子を吸収し、光電子を励起させるために十分な厚さ（300 オングストローム以下）を有している。また、エネルギーギャップの大きな層 7 は、光電子をトンネル効果により通過させるために十分な薄さ（45 オングストローム以下）を有している。そして、これら各層 6、7 が交互に積層されて光電子放出面が形成されている。この光電子放出面は、2 種類の層を交互に積層することにより、入射光子に対する光吸収係数が、均質半導体材料からなる従来の光吸収層に比べて増大することを利用したものである。入射光子により励起された光電子を効率良く放出面へ到達させるためには、障壁となるエネルギーギャップの大きな層 7 の膜厚は十分に薄くしなければならず、実用的にはこの厚さは 45 オングストローム以下と非常に薄くしなければならない。エネルギーギャップの大きな層 7 をトンネル効果により通過できた光電子のみが放出面へ到達し、放出面上に形成された Cs<sub>x</sub>O<sub>y</sub> 層 8 を通って真空中へ放出される。この光電子放出面においては、入射光子の吸収および電子-正孔対の発生を、エネルギーギャップの小さな層 6 の価電子帯と伝導帯との間で生じさせることにより、光電子放出の効率化を図っている。また、図 5 に示されるエネルギーバンド構造を持つ従来の第 2 の光電子放出面もある。この光電子放出面は、エネルギーギャップの小さな層 9 の膜厚が上記従来の光電子放出面の層 6 よりも薄い場合のバンド構造を持っている。この光電子放出面においても、入射光子の吸収および電子-正孔対の発生を、エネルギーギャップの小さな層 9 の価電子帯と伝導帯との間で生じさせ、Cs<sub>x</sub>O<sub>y</sub> 層 11 から光電子を放出させることにより、光電子放出の効率化が図られている。

【0003】 また、B.F.Levine らにより、量子井戸構造を利用した長波長受光素子が文献 (Appl. Phys. Lett. 58 (14) 1991) に報告されている。この受光素子（従来の第 3 の光電子放出面）の価電子帯のバンド構造は図 6 に示される。入射光子の吸収はポテンシャル井戸となるエネルギーギャップの小さな層 12 に形成される価電子帯のサブバンド間で行なわれ、この入射光子の吸収によって光電子が励起される。励起された光電子は、ポテンシャル障壁となるエネルギーギャップの大きな層 13 の価電子帯の X 谷をこの場合は移動する。このような受光素子では、光電子は表面に形成された電極へ到達すれば信号として検出されるので、一般に半導体内部に形成される電界は小さく、雑音を極力低く抑えるため、可能な限り低バイアス電圧で動作させるのが一般的である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記従来の第 1 の光電子放出面においては、エネルギーギャップの小さな層 6 の膜厚を薄くしていくと、量子効果によって価電子帯・伝導帯ともにサブバンドが形成され、入射光子の吸収閾値が高くなり、波長の長い入射光子が吸収

できなくなるという本質的な欠点があった。

【0005】また、上記従来の第2の光電子放出面においては、エネルギーギャップの小さな層9が薄いため、価電子帯のサブバンドと伝導帯のサブバンドとの間のエネルギー差 $E_{sg}$ はバンドギャップ $E_g$ よりも大きくなり、入射光子の吸収閾値波長は短くなってしまふ。

【0006】また、上記従来の第3の光電子放出面（受光素子）においては、高い暗電流を生じるため、液体窒素等でかなりの低温まで冷却して使用する必要があり、この点が一般の装置に組み込んで使用する場合の欠点になっていた。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明はこのような課題を解消するためになされたもので、光吸収層はエネルギーギャップの異なる半導体の異種接合が多層になった異種接合半導体多層膜によって形成され、エネルギーギャップの小さな半導体の膜厚は300オングストローム以下であり、エネルギーギャップの大きな半導体の膜厚は45オングストローム以上であることを特徴とするものである。

【0008】また、光吸収層は導電型の異なる半導体の同種接合が多層になった同種接合半導体多層膜によって形成され、ポテンシャル井戸になる一方の導電型の半導体の膜厚は300オングストローム以下であり、ポテンシャル障壁になる他方の半導体の膜厚は45オングストローム以上であることを特徴とするものである。

【0009】また、入射光子により励起された光電子は内部電界により加速され、より高いエネルギーバンドへ遷移することを特徴とするものである。

【0010】

【作用】半導体多層膜に形成される伝導帯のサブバンド間あるいはサブバンドと伝導帯の底の間で入射光子の吸収、光電子の励起が行われ、用いる半導体のエネルギーギャップに対応する波長よりも長波長の入射光に対して感度を有する。また、励起された光電子が内部電界によって加速されることにより、光電子は容易に真空中へ放出される。

【0011】

【実施例】図1は本発明の一実施例による光電子放出面の構造を示す断面図である。

【0012】 $P^+-GaAs$ 基板21上には光吸収層22が形成されている。この光吸収層22は、30オングストロームの厚さのアンドープ $GaAs$ 層22aおよび500オングストロームの厚さの $Al_{0.65}Ga_{0.35}As$ 層22b、各々40層の異種接合半導体多層膜によって形成されている。なお、図においては、一部の異種接合は省略されている。光吸収層22上には $P^+-GaAs$ コンタクト層23が3000オングストロームの厚さに形成されている。さらに、この $P^+-GaAs$ コンタクト層23の表面にはメッシュ状にパターンニングされたA

1ショットキ電極24が形成されている。これらの表面に $Cs$ 、 $O_2$ により活性化処理が施されてごく薄い $Cs_xO_y$ 膜25が形成されており、仕事関数の低減化が図られている。一方、 $P^+-GaAs$ 基板21の裏面にはオーミック電極26が形成されており、電源27によってショットキ電極24およびオーミック電極26間にバイアスが加えられる。

【0013】図2は本実施例による光電子放出面にバイアス電圧を印加していない場合のバンド構造を示している。図1の各層に対応するエネルギーバンドには各層と同じ符号が付されている。

【0014】このバンド構造においては、光吸収層22となる異種接合半導体多層膜のそれぞれの伝導帯のエネルギー差は、用いる半導体の最小のエネルギーギャップよりも小さくなっている。異種接合半導体多層膜の $GaAs$ 層22aは、電子のドブロイ波長よりも短い300オングストローム以下の膜厚であるため、隣接するエネルギーギャップの大きな $Al_{0.65}Ga_{0.35}As$ 層22bによって挟まれてポテンシャル井戸となり、 $GaAs$ 層22a内にその量子準位に応じたサブバンドが形成される。この時に、 $Al_{0.65}Ga_{0.35}As$ 層22bはトンネル効果によって電子が通り抜けられない45オングストローム以上の膜厚を有しているので、このサブバンドは束縛電子により常に満たされた状態にある。

【0015】本実施例による光電子放出面は、入射光子の吸収によってこの束縛電子をさらに他の量子準位のサブバンドへ励起しようというものであり、従来の均質半導体光電子放出面あるいは前述した従来の特開昭62-133634号公報等に開示されている光電子放出面のように、入射光子の吸収、光電子の励起を半導体の価電子帯と伝導帯との間で行なわせるものとは本質的に異なることは明らかである。従って、従来の光電子放出面では、用いる半導体のエネルギーギャップに対応する波長 $\lambda = 1.24/E_g$ よりも長波長の入射光子に対しては全く感度を有するものではないが、本実施例による光電子放出面では、用いる半導体のエネルギーギャップよりも長波長の入射光子に対しても感度を有する。また、その波長も光吸収層22の異種接合半導体多層膜を適宜設計することにより、任意に変化させることが可能になる。

【0016】図3は本実施例による光電子放出面のバイアス電圧印加時におけるエネルギーバンド構造を示している。本図においても、図1の各層に対応するエネルギーバンドには各層と同じ符号が付されている。

【0017】光吸収層22内の $GaAs$ 層22aのサブバンド間で入射光子 $h\nu$ により励起された光電子は、 $Al_{0.65}Ga_{0.35}As$ 層22bの伝導帯のX谷へ移動する。しかしながら、バイアス電圧が印加されて半導体内部には高電界（ $\geq 10^3$  V/cm以上）が形成されているので、光電子は加速され、すぐにより高いエネルギーバンドのΓ谷へと遷移する。本実施例では $Al_{0.65}Ga$

0.35 A s 層 2 2 b が間接遷移半導体であるために X- $\Gamma$  遷移となるが、直接遷移半導体を用いた場合には  $\Gamma$ -X あるいは  $\Gamma$ -L 遷移となることは当然のことである。このように内部電界により加速され、より高いエネルギー帯を移動する光電子は、異種接合半導体多層膜を横切る際に光電子のポテンシャルエネルギーが十分に高く保たれているため、GaAs 層 2 2 a のポテンシャル井戸へ落ちることはなく、放出面まで到達することができる。放出面に到達した光電子はごく一部がショットキ電極 2 4 に吸い込まれるが、ほとんどは電極パターンの間を通り、Cs<sub>x</sub>O<sub>y</sub> 膜 2 5 を通って真空中へ放出される。この時も光電子のポテンシャルエネルギーは十分高く保たれているので、光電子は非常に効率良く真空中へ放出される。

【0018】以上説明したように本実施例による光電子放出面は、入射光子により伝導帯のサブバンド間で励起された光電子を内部電界により加速し、より高いエネルギー帯へ遷移させた後に真空中へ放出するものであり、例えば、B.F.Levineらによって報告されている前述の従来の量子井戸構造を用いた受光素子とは本質的に異なる機構を持つものである。つまり、光電子放出面は、従来のように価電子帯と伝導帯との間のいわゆるバンド間での光励起ではなく、伝導帯のサブバンド間で入射光子を吸収して光電子を励起するので、エネルギーギャップの小さな半導体を用いなくても長波長に光感度を有する。さらに、励起された光電子は内部電界により加速され、より高いエネルギー帯へ遷移した後に真空中へ放出されるので、上記のように光電子のポテンシャルエネルギーは従来のものより高く、非常に効率良く真空中へ放出させることができる。従って、従来の半導体を用いた光電子放出面に比較して著しく高い感度を有し、また、その限界波長ははるかに長波長までとることが可能となる。さらに、本発明による光電子放出面は、光吸収層 2 2 となる異種接合半導体多層膜の種類と構造を適当に設計することにより、任意の波長にピークを有する光電子放出面を形成することができる。また、異種接合半導体多層膜の種類、層厚、層数の自由度は高いので、感度の波長域は狭いものから広いものまで任意に調整可能である。

【0019】また、真空中へ放出された光電子を 2 次電子増倍することにより、比較的高い温度でも動作可能な高感度・低雑音の長波長受光素子を提供することが可能になる。すなわち、上記実施例による光電子放出面は電子管に応用すると有用である。光電子増倍管に応用した場合には、光電変換面に上記実施例による光電子放出面が適用され、この光電子放出面から放出された光電子はダイノードによって 2 次電子増倍され、アノードでその電子群が検出される。また、撮像管に応用した場合には、画像入力部に上記実施例による光電子放出面が適用され、この光電子放出面から放出された光電子は電子レンズによって集束され、蛍光面に撮像された像が結像する。電子レンズによって集束される光電子をマイクロチ

ヤネルプレート (MCP) によって増倍するイメージ・インテンシファイヤ管 (I・I 管) にも同様に適用することが可能である。また、光電管に応用した場合には、受光面に上記実施例による光電子放出面が適用され、この光電子放出面から放出された光電子はアノードによって検出される。このような上記実施例による光電子放出面を有する各電子管は、従来の電子管に比べ、特に長波長域において著しく高い感度を有するようになる。従って、このような電子管を低照度下における測光やイメージング等に用いるとその効果は大である。

【0020】なお、上記実施例においては GaAs 層 2 2 a と Al<sub>0.65</sub>Ga<sub>0.35</sub>As 層 2 2 b からなる 2 種類の異種接合を半導体多層膜として光吸収層 2 2 を形成したが、これに限定される必要はなく、他の III-V 族化合物半導体、あるいは Si、Ge およびその混晶を用いても構わなく、また、その種類も 2 種類に限ることは本質的なことではない。従って、これらの材料を用いて光吸収層を形成しても上記実施例と同様な効果が奏される。さらに、この光吸収層は、p 形と n 形および i 形の接合を有する同種の半導体多層膜で形成しても良く、この場合においても上記実施例と同様な効果が奏される。

【0021】また、ショットキ電極 2 4 については上記実施例では Al を例に説明したが、用いる半導体と良好なショットキ接合を形成する金属であればその種類は限定されるものでなく、また、そのパターン形状も任意にすることができる。このようなショットキ電極を形成しても上記実施例と同様な効果が奏される。

【0022】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、半導体多層膜に形成される伝導帯のサブバンド間あるいはサブバンドと伝導帯の底の間で入射光子の吸収、光電子の励起が行われ、用いる半導体のエネルギーギャップに対応する波長よりも長波長の入射光に対して感度を有する。また、励起された光電子が内部電界によって加速されることにより、光電子は容易に真空中へ放出される。従って、従来の半導体を用いた光電子放出面に比較して著しく高い感度を有し、また、その限界波長をはるかに長波長にまで設定することが可能になる。

【0023】また、このような光電子放出面を有する電子管は比較的高い温度でも動作し、従来のものに比べて特に長波長域において著しく高い感度を呈するようになる。さらに、本発明による光電子放出面は、光吸収層となる半導体多層膜の種類と構造を適当に設計することにより、感度の波長域は狭いものから広いものまで任意に調整可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の一実施例による光電子放出面の構造を示す断面図である。

【図 2】本実施例による光電子放出面の無バイアス時におけるバンド構造図である。

【図3】本実施例による光電子放出面のバイアス時におけるバンド構造図である。

【図4】従来の第1の光電子放出面のバンド構造図である。

【図5】従来の第2の光電子放出面のバンド構造図である。

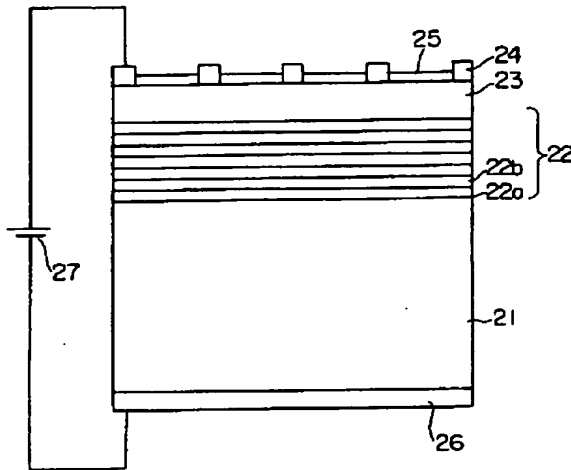
【図6】従来の第3の光電子放出面のバンド構造図である。

る。

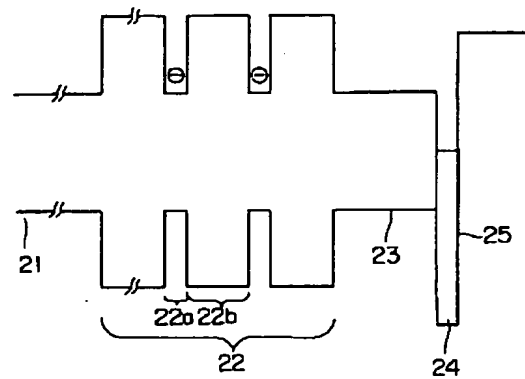
【符号の説明】

21…P<sup>+</sup>-GaAs基板、22…光吸収層、22a…アンダーP-GaAs、22b…Al<sub>0.65</sub>Ga<sub>0.35</sub>As、23…コンタクト層、24…ショットキ電極、25…Cs<sub>x</sub>O<sub>y</sub>膜、26…オーミック電極、27…電源。

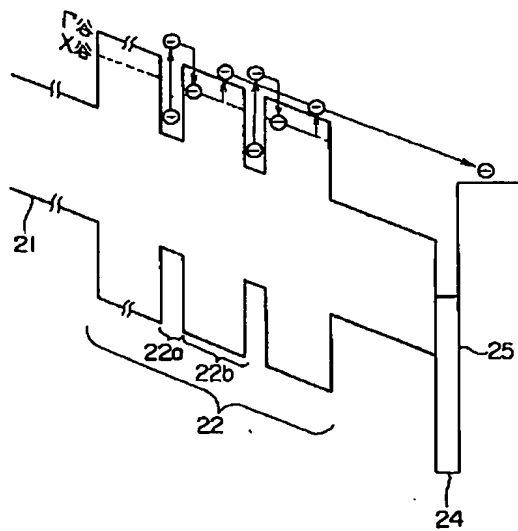
【図1】



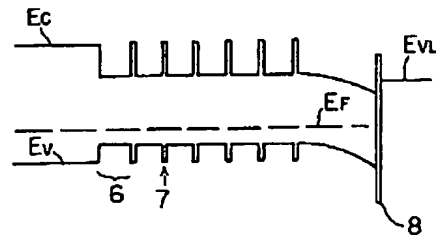
【図2】



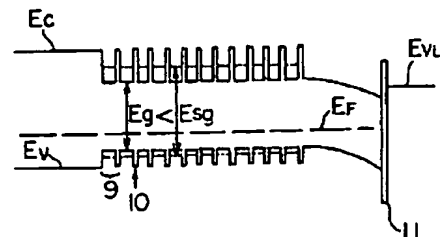
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

